短波紫外線(UV-C)照射處理技術在園產品保鮮之應用

王自存[1] 梁穎芝[2] 梁淑惠[2] 鄧國同[2] 黃錦杰[2]
國立台灣大學園藝學系副教授[1]，研究生[2]

摘 要

短波紫外線(UV-C)是指波長低於 280nm 之紫外線，以低劑量 UV-C 照射處理來減少園產品的採收後腐爛的發生，是近年來正在研究中的一種非化學性的處理技術。已知包括洋蔥、甘藷、柑桔、蘋果、桃子、甜椒、胡蘿蔔、番茄、葡萄、草莓等重要園藝作物都可以經由 UV-C 照射處理而減少採收後腐爛，延長櫥架壽命。UV-C 照射處理的可能作用機制包括直接殺死病原菌、誘導植物體產生抗病性以及延緩果實的後熟。UV-C 照射處理的效果受到照射劑量、產品種類、發育成熟度、貯藏溫度及有無照光等多種因子的影響。UV-C 照射處理技術目前仍在試驗階段，仍有困難需要克服。但是由於 UV-C 照射處理可增加採後園產品的抗菌能力，一方面可減少貯藏及運銷時腐爛的發生率，另一方面能取代或減少採後殺菌劑的使用，因此是一種值得做進一步研究之採後處理技術。

關鍵字：紫外線、照射、腐爛、抗病性、採後處理、水果、蔬菜

前 言

新鮮園產品在採收後的貯運過程中，常因病害的問題導致發黴及腐爛，是造成園產品在採後損耗的主要原因之一(Kader, 2002)。到目前為止，使用化學性的殺菌藥劑仍然是防治園產品採後病害問題的最主要手段(Moline, 1984)。然而由於化學藥劑對人體安全及對環境污染方面的影響愈來愈受到重視，因此化學藥劑的使用規定受到比過去更為嚴格的管制；另一方面，消費者對高品質、無農藥、強調有機的蔬果產品的需求也與日俱增；因此，近年來研究者都在努力找尋不具殘留及污染性的替代性防治方法來減低採後病害的發生，其中之一是利用不同物理性及生物性的方法來誘導植物產生對病原菌的抵抗性，因而降低貯運過程中之腐爛率(Wilson et al., 1994)。

在 1980 年代後期，有研究者發現以不致造成傷害的低劑量”短波紫外線”(Ultraviolet C，簡稱 UV-C)照射蔬菜或水果，可以誘導其產生抵抗病原菌的能力(Lu et al., 1987；Stevens et al., 1990)。近十多年來在美國、加拿大及以色列已有研究者嚐試將 UV-C 應用在不同的園產品上，探討其作為一種替代性防治採後病害的方法(Wilson et al., 1994；Nigro et al., 1998)。由於 UV-C 被認為是一種可減低園產品採收後真菌性腐爛的非化學性的防治方法，因此它在園產品採後保鮮上之應用性值得加以探討。

什麼是短波紫外線(UV-C)？

紫外線(ultraviolet light)也被稱為紫外輻射(ultraviolet radiation)，是太陽輻射(solar radiation)中的一個區域。廣義的紫外輻射是指在太陽輻射中，波長介於可見光(visible light)及 X-光(X-rays)之間的電磁波(electromagnetic waves)(Harm, 1980)。實際上各種不同定義的輻射能之間並無很明確的分界，但為了實用上方便，會對各種輻射給予一定的波長範圍(Harm, 1980)。有關紫外線(UV)的波長範圍，一般是指波長在 100 – 400 nm 範圍內的輻射能，但在不同的文獻中對此一範圍的定義略有出入，Harm(1980)以 380 nm 為可見光的最下

限；Madronich (1993)、Jagger(趙與林, 1988)及 Weatherhead(2004)則均以 400 nm 為起點。

由於太陽紫外輻射對地球上的生物有很重要的影響，所以由輻射生物學的角度，研究者依太陽紫外線對生物體影響的程度，將紫外線進一步細分為更多的小範圍，目前最常見到的區分方式是分成以下的三個類別(趙與林, 1988；Weatherhead, 2004)：

UV-A (320 – 400 nm) 亦稱為近紫外線(near UV)，是最接近可見光的紫外線，也是太陽輻射中能直接到達地球表面的紫外線。一般生物分子，尤其是核酸與蛋白質，在此波長範圍內的吸光性很低；而且 UV-A 具有誘導生物體產生修補受到傷害的 DNA 分子的能力，因此 UV-A 對生物體的傷害性不大(趙與林, 1988)。醫學上甚至還發展出利用 UV-A 來治療皮膚病的方法(Madronich, 1993)。

UV-B (280 – 320 nm) 亦稱為中紫外線(mid UV)，其波長範圍介於近紫外線與遠紫外線之間。由於核酸與蛋白質分子對於波長低於 300 nm 的紫外線具有很強的吸光性，因此 UV-B 對生物體的傷害性遠比 UV-A 為強。太陽輻射中的 UV-B 在進入大氣時大部份會被臭氧層所吸收，僅有很少到達地表，所以不致造成傷害；但是如果臭氧層受到破壞，UV-B 到達地球表面的機會增加，對地球上的生物體就可能帶來不良的影響。有關 UV-B 對人體及其他生物體的影響是近二十年來生物及醫學界極為重視的課題。

UV-C(100 – 280 nm) (亦有文獻以 180 – 290 nm 為 UV-C 之波長範圍) 亦稱為遠紫外線(far UV)或短波紫外線，是波長最短、能量最強的紫外線，核酸與蛋白質分子在此波長範圍具有很強的吸光性，因此 UV-C 對生物體的傷害性也最大。但是太陽輻射中的 UV-C 在進入大氣中會散射並完全被氧、氮及臭氧所吸收，所以不會到達地表。一般實驗室常用可放出此一波長範圍(通常集中於 254 nm)輻射能的紫外燈作為殺菌消毒之工具。

利用短波紫外線(UV-C)照射於園產品採後處理之研究成果

利用 UV-C 照射處理來降低園產品採後腐爛技術之發展，其源起應與利用放射線照射技術來延長園產品的保存期限有關。Lu 等人(1987)以 γ 射線、電子束(electron beams)及紫外線處理一種含水量高而且不耐貯藏的’Walla Walla’洋蔥，於 20-25℃貯放四星期後，結果以紫外線照射組的效果最佳，可售率最高、腐爛率最低，且無軟化情形，而此試驗所用之紫外線來自殺菌燈；作者等認為紫外線所產生之減低腐爛效果可能與 Luckey 氏(1980)所謂的“輻射毒物興奮效應”(radiation hormesis)有關。Luckey (1980)歸納許多過去的試驗結果指出，利用低劑量、非傷害性的照射處理(包括游離輻射的 γ 射線、電子束及非游離輻射的紫外線)，會刺激生物體產生一些反應，包括促進種子發芽、加速生長、增加產量及增加抗病性等；這些現象被認為是符合“毒物興奮效應”(hormesis)的定義。此外 Lu 等人亦指出在植物病理的研究上已有報告發現 UV 照射處理可以誘導大豆及豌豆產生具有抗菌作用的“植物殺菌素”(phytoalexin)(Bridge and Klarman, 1972)，這也可能是紫外線照射所產生的另一項作用。

在此之後，利用非游離的紫外線照射來處理園產品的研究報告逐漸增加。Stevens 等人(1990)以紫外線照射甘藷，可有效降低貯藏期中的腐爛，尤期對 Fusarium rot 之抑制效果最佳。Lu 等人(1991)以 254nm 之 UV 照射桃子及蘋果並在室溫環境下貯藏，結果可以有效降低桃子的褐腐病(brown rot)及蘋果的 Alternaria rot，並且有延緩果實後熟之效果。Chalutz 等人(1992)先以 UV 照射葡萄柚，再於 24 小時後接種綠黴菌(green mold)孢子，結果感染率由未照射的 100%降為 20%；作者認為 UV 能夠誘導果皮中抗菌物質的生成，因而降低感染率。Rodov 等人(1992)以 UV(254 nm)照射金柑及甜橙，在果皮的油胞層中可偵測到植物殺菌素 scoparone 含量的增加，而且果皮中 scoparone 的含量與抗真菌的能力有相關性。Mercier 等人（1993）指出 UV-C 處理可以有效誘導胡蘿蔔切片產生植物殺菌素 6-methoxymellein，而且有 UV 處理的切片對灰黴菌（Botrytis cinerea）及 Sclerotinia sclerotiorum 的抵抗性均較強。

Liu 等人(1993)指出用 UV-C 照射綠熟番茄可增加番茄對黑黴病(black mold, Alternaria alternata)、灰黴病、及 Rhizopus soft rot(Rhizopus stolonifer)的抗性，並且延緩後熟的進行。Nigro(1998)等人以低劑量的 UV-C 照射'Italia'鮮食葡萄果粒，可以降低 24-48 小時後接種的灰黴菌的感染率。Baka 等人(1999)以 UV-C 照射轉色程度在 25-50%的草莓，可以降低灰黴病的發生，維持較佳之硬度，增加貯運壽命 4-5 天。González-Agulliar (2001)以 UV-C 照射硬熟的'Tommy Atkins'芒果可以降低在 5℃或 20℃中貯藏之腐爛率。

UV-C 照射處理降低園產品腐爛率之可能作用機制

以低劑量短波紫外線照射園產品可以使產品的腐爛率降低，大多數的研究者都認爲是與誘導園產品的"毒物興奮效應(hormesis) "有關。但是紫外線照射對園產品的可能影響應包括以下幾項：

1. 直接殺菌作用(Germicidal effect)

紫外線中以 UV-C 波長最短能量最強，加上 DNA 及蛋白質分別在 260 nm 及 280 nm 具有最大之吸收值，因此對生物體之傷害力最大。UV-C 可在生物體造成許多輻射產物，其中以影響嘧啶雙連體(pyrimidine dimer)的形成鍵結最爲嚴重。嘧啶雙連體可由任何兩個嘧啶搭配而成，其比率依據 DNA 之成分而定，但多數爲胸腺嘧啶雙連體(thymidine dimer)；而不同的嘧啶雙連體之間其比率也隨照射波長之改變而不同。一旦嘧啶雙連體形成，生物體之遺傳物質遭受到破壞，使遺傳訊息之傳遞受阻，引起細胞蛋白質與酵素系統異常，進而引起生理代謝失常，導致細胞突變或致死。這也是短波紫外線得以殺滅微生物之主要作用(趙與林, 1988)。Mercier 等人(2001)以 2.2 及 4.4 KJ/m^2 UV-C 照射可完全殺死在培養基上之灰黴菌(Botrytis cinerea)孢子，但是以 0.88 KJ/m^2 即可有效降低甜椒之腐爛率而且在接種 24 小時再行照射並無法殺死真菌，所以作者認爲 UV-C 的直接殺菌效果應不是抑制其腐爛的主要原因。

2. 誘導抗病性產生(Induced resistance)

Wilson 等人(1994)認爲 UV-C 照射產生之抗病機制並不僅限於直接殺菌作用。一般而言，UV-C 照射之直接殺菌作用應隨劑量提高而增加，但實際處理於園產品時，UV-C 照射劑量和腐爛率的關係卻呈 V 型曲線(Steven et al., 1990; 1996; Wilson et al., 1994；Nigro et al., 1998)。此外，金柑果實先接種 P. digitatum 於 18 小時後再給予 UV-C 照射處理，其發病率與未經照射者相近，顯示 UV-C 照射並無法有效抑制真菌之生長；但先經 UV-C 照射處理並於 48 小時後再接種者約可降低 50 %之發病率(Rodov et al.,1992)；由於所接種之真菌並沒有受到 UV-C 之照射，因此 Rodov 等(1992)認爲 UV-C 誘導園產品產生內生防禦機制之效果大於直接殺菌作用。

UV-C 處理提高園產品之抗病性，可能與誘導植物殺菌素之生成有關。Rodov 等人(1992)發現經 UV-C 照射後的柑桔果皮粗萃取物中有抗菌物質的存在，主要爲 scoparone (6,7-dimethoxycoumarin)及 scopoletin (6-methoxy, 7-hydroxycoumarin)，此二種物質屬於酚類物質中之香豆素類(coumarin)。葡萄經 UV-C 照射可誘導產生芪(stilbene，對二苯代乙烯)類物質累積，其中的白藜蘆醇(resveratrol)及 ε-viniferin 等二種植物殺菌素於 20 小時內即可快速生成 (Douillet-Breuil et al., 1999)。UV-C 照射會刺激甜瓜(cantaloupe)產生一些環狀與非環狀之類萜化合物(terpenoid)，包括 β-ionone、geranylacetone 及 terpinyl acetate 等植物殺菌素(Lamikanra et al., 2002)。

因爲植物殺菌素都屬於植物之次生代謝物(secondary metabolites)，因此 UV-C 照射的作用可能是影響次生代謝途徑中關鍵酵素之表現或活性。葡萄柚果皮中之苯丙氨酸解氨酶(phenylalanine ammonia lyase)經照射後 24 小時內，活性提高並維持至照後 72 小時，而過氧化酶(peroxidase)活性在照射後 72 小時達到最高(Droby et al., 1993)。此外，葡萄柚經 UV 照

射後可誘導果皮組織中 25 kD chitinase protein 之累積，而 UV 照射加上輕微創傷處理另可誘導出 39 及 43 kD β-1,3-endoglucanase protein 之生成，這兩種 PR proteins 可水解真菌細胞壁之聚合物，進而抑制真菌生長(Porat et al., 1999)。

3. 延緩果實後熟(Delay ripening)

UV-C 處理可延緩桃果實後熟且抑制乙烯產生，而 UV-C 誘導抗病性產生之最適劑量亦與延緩後熟之劑量幾近相等(Stevens et al., 1998b)。UV-C 照射可延緩番茄之後熟作用，包括延緩胡蘿蔔素生成、葉綠素降解及乙烯產生等，並且提高果實之抗病性，在照射後 72 小時達最大抗性，其機制可能與活化抗菌物質 tomatine 及延緩其降解有關(Stevens et al., 1998a)。‘Tommy Atkins’芒果以 8,8200 mW/m^2 UV-C 處理 10 分鐘，在 5℃貯藏後可延緩後熟及抑制軟化，且腐爛率較未經 UV-C 處理者低(Gonzalez-Aguilar et al., 2001)。其它報告亦指出 UV 照射延緩果實之後熟作用(Lu et al., 1991; Liu et al., 1993; Maharaj et al., 1999)，因而維持自然之抗病性。

影響 UV-C 照射處理效果的各種因子

1. 短波紫外線照射處理之劑量

紫外線是一種幅射能，所以紫外線照射處理的劑量(dosage)是以產品接受到幅射能的強度來表示。

一般用來表示能量(energy)的單位有耳格(erg)及焦耳(Joule, J)，前者是後者的一仟萬分之一(1 erg = 10^{-7} J)(Dean, 1974)。UV-C 的照射劑量是以單位面積所受到的能量強度來表示，英文稱為”energy fluence”。早期文獻中的表示方式為 ergs/mm^2 或 ergs/cm^2 (cm-g-sec units)，近年來以轉用 J/m^2(m-kg-sec units)來表示。各表示法之間可以由以下的關係式互相轉換而加以比較: 1 J/m^2 = 10 ergs/mm^2 = 10^3 ergs/cm^2。

短波紫外線照射處理時是將產品放在紫外線光源下一定距離處，給予一定時間的照射。因為在光源下一定距離的位置，所受到的光照強度是一定的，這可以經由紫外光光度計(UVX radiometer)來量測，它的單位是 mW/cm^2，(W=Watt, 1 W = 1 J sec^{-1})，所以由此光照強度乘上照射時間就可以得到所需的照射劑量。

UV-C 照射處理的劑量通常在 0.1~10 KJ/m^2 範圍內。‘Golden Delicious’蘋果以 7.5 KJ/m^2 UV-C 處理可控制 C. gloeosporioides 及 Monilinia spp.造成的腐爛，以 4.8 KJ/m^2 UV-C 照射可降低 Alternaria rot，由 34~78 %降至 0.1 %(Stevens et al., 1996)。桃果實以 7.5 KJ/m^2 UV-C 照射處理誘導抗性產生，可控制褐腐病之感染率(Stevens et al., 1998b)。Stevens 等人(1999)也以 3.6 KJ/m^2 UV-C 處理‘Jewel’甘藷，可延緩接種 Fusarium solani 10 天後之根腐病感染速度。‘Star Ruby’葡萄柚以 0.5 KJ/m^2 UV-C 照射，對果實表皮之傷害最小且能降低綠黴病腐爛(D’hallewin et al., 2000)。甜椒果實以 0.88 KJ/m^2 UV-C 照射處理取代殺菌藥劑，可抑制由 Botrytis cinerea 引起之灰黴病腐爛，使果實在 13℃貯藏 4 星期後比對照組之腐爛少 60 %(Mercier et a., 2001)。而以 UV-C 降低葡萄果實灰黴病腐爛之適當照射劑量為 0.125~0.5 KJ/m^2 (Nigro, 1998)。

UV 照射處理通常有一個最適當的劑量範圍，高劑量 UV-C 照射雖可誘導生成較多的植物殺菌素，但未必對抑制園產品的腐爛有更好的效果，因為高劑量會造成產品表皮的受傷，反而增加腐爛(D’hallewin et al., 2000)。

2. 園產品之種類及品種

不同園產品對 UV 照射的反應並不相同，各有不同的最適劑量，而且通常集中在一個狹窄的範圍內。‘Tarocco’ 甜橙對 UV-C 照射較敏感，0.5 KJ/m^2 即會造成果皮受傷，‘Washington Navel’及‘Biondo Comune’甜橙次之，要到 1.5 KJ/m^2 才會發生，而‘Valencia Late’甜橙則能忍受 3.0 KJ/m^2 高劑量照射並可累積最高量之植物殺菌素(D’hallewin, 1999)。不同

種類柑桔經 UV 照射後生成植物殺菌素的能力也不相同；橙類果實經 1.5 KJ/m^2 UV-C 照射後 6 天，其 scoparone 之生成量為 50-70 μg/g，而金柑果實則大於 200 μg/g(Rodov et al., 1992)。

3. 果實之發育成熟度

UV-C 處理之效應會因果實之採收季節不同而改變。Droby 等人(1993)之報告指出葡萄柚果實受 UV 照射後產生最大抗病性所需之最適劑量隨採收期不同而會改變，在 11 月採收之果實需要 4.8 KJ/m^2，12 月果為 1.6 KJ/m^2，1 月果是 3.2 KJ/m^2，2 月則增加到 8.0 KJ/m^2。D'hallewin 等人(1999)指出晚採收的甜橙類果實，其果皮發生受傷的比例較低。同樣的，D'hallewin 等人(2000)在葡萄柚的試驗也得到類似的結論，11 月採收的'Star Ruby'葡萄柚果實經相同 UV-C 照射所誘導之植物殺菌素含量低於 2 月及 5 月採收者，而且受高劑量(3.0 KJ/m^2)照射後易造成果皮受傷。

在綠熟期、轉色期與全紅期等三種成熟度採收之甜椒果實中，在 UV-C 處理後會所表現出對 Botrytis cinerea 的抗性，以綠熟期果實最佳，隨成熟度增加照射之效果隨之下降(Mercier et al., 2001)。

4. 處理後之貯放溫度

葡萄柚果實經 UV 照射後至人工接種期間貯放在 6℃之發病率高達 97 %，而貯放於 11、17、20、25℃的果實發病率分別為 6 %、10 %、6 %及 23 %(Droby et al., 1993)。UV-C 處理胡蘿蔔切片後貯放在 20℃，其植物殺菌素 6-methoxymellein (6-MM)生成量於照射後快速累積，但於 72 小時後便開始下降；若貯放於 1 或 4℃，6-MM 累積較慢，但分別於 21 及 14 天可達最大量且維持至 35 天(Mercier, 1993)。

5. 處理後之貯放環境中有無光線

Stevens 等人(1998b)指出經 UV-C 處理之桃果實必須貯放在黑暗環境，才可顯現降低褐腐病發生之效果；若貯放在可見光環境中則會發生光效應之可逆反應(photoreversibility)，即 UV-C 誘導寄主抗性產生之作用消失；此可逆反應亦發生於番茄果實(Stevens, 1998a)。經 UV-C 照射後之大豆胚軸放在黑暗中 12 小時，可偵測到植物殺菌素 hydroxyphaseollin 生成，但若於照射後即放在可見光中，則無法偵測到其含量(Bridge and Klarman, 1973)。

結　語

短波紫外線對生物體的影響過去都停留在輻射生物學及植物病理學的研究領域，研究者陸續觀察到低劑量的短波紫外線具有所謂的"毒物興奮效應"，以及具有促使植物體生成植物殺菌素的"誘導抗病性"。直到近十多年，此一效應才被應用到園產品的採後處理上來作為降低貯運過程腐爛率的方法。其發展的背景是由於以化學藥劑為主的採後病害防治技術正漸漸受到更嚴格的管制，而消費者對高品質、無農藥、強調有機的蔬果產品的需求卻與日俱增。因此，為了使新鮮園產品的採後處理與保鮮工作更為安全有效，研究者都在努力找尋不具殘留及污染性的替代性防治方法來減低採後病害的發生。以低劑量的 UV-C 照射處理蔬果可以誘導產品產生抗病性，因而降低採後病害發生的機率；此一特性符合替代性處理技術的要求，所以受到各方的重視。

到目前為止，UV-C 照射處理仍然停留在試驗的階段；但已知包括洋蔥、甘藷、柑桔、蘋果、桃子、甜椒、胡蘿蔔、番茄、葡萄、草莓等重要園藝作物都可以經由 UV-C 照射處理而減少採收後腐爛，延長櫥架壽命。但是值得注意的是 UV-C 照射處理技術的應用仍然有它的限制，第一、對任一種產品而言，都需要找到最適當的照射劑量範圍，而且照射效果會受到多種因子的影響；第二 UV-C 照射所誘導生成的植物殺菌素並不會長期停留在植物體內，因此它的保護效果有一定的時間範圍。第三、UV-C 照射處理的效果仍然無法與化學藥劑處理的效果相提並論，因此無法完全取而代之；第四、如何將 UV-C 照射處理融入

現有的處理流程，使大量產品能在一定的時間內接受到均勻的照射，仍有待研究。

短波紫外線照射處理技術目前已被列入爲發展中的非化學性的採後處理技術。對某些園產品而言，適當的照射具有降低其採後的腐爛率的效果；但是在實用上仍然具有一些限制需要克服。由於 UV-C 照射處理可增加採後園產品的抗菌能力，一方面可減少貯藏及運銷時腐爛的發生率，另一方面能取代或減少採後殺菌劑的使用，因此是一種值得做進一步研究之採後處理技術。經一些蔬果中得到未來朝向更具實用性的發展應是可以期待的。

致　謝

本試驗承農委會 91 農科-1.1.1-糧-Z8(5)，92 農科-1.1.2-糧-Z1(2)，93 農科-1.1.2-糧-Z1(1)等計畫補助，特申謝忱

參考文獻

1.梁淑惠。2003。短波長紫外線(Ultraviolet-C)在採收後柑桔類果實之防腐應用。國立台灣大學園藝學系碩士論文。

2.梁穎芝。2004。短波紫外線(Ultraviolet-C)誘導柑桔果實植物殺菌素 scoparone 之生成及對貯藏病害發生之影響。國立台灣大學園藝學系碩士論文。

3.趙清貴、林淑端(譯)。1988。日光紫外輻射生物學(J. Jagger 原著)。華香園出版社 239 頁。

4.Baka M., J. Mercier, R. Corcuff, F. Castaigne, and J. Arul. 1999. Photochemical treatment to improve storability of fresh strawberries. J. Food Sci. 64(6): 1068-1072.

5.Ben-Yehoshua, S; V. Rodov, J.J. Kim and S. Carmeli. 1992. Preformed and induced antifungal materials of citrus fruits in relation to the enhancement of decay resistance by heat and ultraviolet treatments. J. Agri. Food Chem. 40(7):1217-1221.

6.Bridge, M. A. and W. L. Klarman. 1973. Soybean phytoalexin, hydroxyphaseollin, induced by ultraviolet irradiation. Phytopathology 63: 606-609.

7.Chalutz, E., S. Droby, C. L. Wilson, and M. E. Wisniewski. 1992. UV-induced resistance to postharvest diseases of citrus fruit. J. Phytochem. Phytobiol. 15: 367-374.

8.Dean, J.A.(ed) 1974. Lange's Handbook of Chemistry. 11th ed. McGraw-Hill, New York.

9.D' hallewin, G., M. Schirra, and E. Manueddu. 1999. Scoparone and Scopoletin accumulation and ultraviolet-C induced resistance to postharvest decay in oranges as influenced by harvest date. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 124(6): 702-707.

10.D' hallewin, G., M. Schirra, M. Pala, and S. Ben-Yehoshua. 2000. Ultraviolet C irradiation at 0.5 kJ/m^2 reduces decay without causing damage or affecting postharvest quality of Star Ruby grapefruit (C. paradisi Macf.). J. Agric. Food Chem. 48(10): 4571-4575.

11.Douillet-Breuil, A., P. Jeandet, M. Adrian, and R. Bessis. 1999. Changes in the phytoalexin content of various Vitis spp. in response to ultraviolet C elicitation. J. Agric. Food Chem. 47: 4456-4461.

12.Droby, S., E. Chalutz, B. Horev, L. Cohen, V. Gabai, C. L. Wilson, and M. E. Wisniewski. 1993. Factors affecting UV-induced resistance in grapefruit against the green mould decay caused by Penicillium digitatum. Plant Pathol. 2: 418-424.

13.Gonzalez-Aguilar, G. A., C. Y. Wang, J. G. Buta, and D. T. Krizek. 2001. Use of UV-C irradiation to prevent decay and maintain postharvest quality of ripe 'Tommy Atkins' mangoes. Int. J. Food Sci. Technol. 36: 767-773.

14.Harm, W. 1980. Biological effects of ultraviolet radiation. Cambridge University Press. Cambridge, UK. 216pp.

15.Kader, A.A. (Technical Editor) 2002. Postharvest Technology of Horticultural Crops. 3rd ed. Univ. of California, Agriculture & Natural Resources, Publication 3311. 535pp.

16.Lamikanra, O., O. A. Richard, and A. Parker. 2002. Ultraviolet induced stress response in

fresh cut cantaloupe. Phytochemistry 60: 27-32.
17.Lu, J. Y., C. Stevens, P. Yakubu, and P. A. Loretan. 1987. Gamma electron beam, and UV radiation on control of storage rots and quality of Walla Walla onions. J. Food Process. Preserv. 12: 53-62.
18.Lu, J. Y., C. Stevens, V. A. Khan, M. K. Kabwe, and C. L. Wilson. 1991. The effect of ultraviolet irradiation on shelf-life and ripening of peaches and apples. J. Food Qual. 14: 299-305.
19.Liu, J., C. Stevens, V. A. Khan, J. Y. Lu, C. L. Wilson, O. Adeyeye, M. K. Kabwe, P. L. Pusey, E. Chalutz, T. Sultana, and S. Droby. 1993. Application of ultraviolet-C light on storage rots and ripening of tomatoes. J. Food Prot. 56: 868-872.
20.Luckey, T.D. 1980. Hormesis with ionizing radiation. CRC Press Inc. Boca Raton, Florida.222pp..
21.Madronich, S. 1993. The atmosphere and UV-B radiation at ground level. p. 1-39. In: A.R. Young, L.O. Björn, J. Moan and W. Nultsch (eds) Environmental UV Photobiology. Plenum Press, New York.
22.Maharaj, R., J. Arul, and P. Nadeau. 1999. Effect of photochemical treatment in the preservation of fresh tomato (Lycopersicon esculentum cv. Capello) by delaying senescence. Postharvest Biol. Technol. 15: 13-23..
23.Mercier, J., J. Arul, R. Ponnanapalan, and M. Boulet. 1993. Induction of 6-methoxymellein and resistance to storage pathogens in carrot slices by UV-C. J. Phytopathol. 137: 44-54.
24.Mercier, J., M. Baka, B. Reddy, R. Corcuff, and J. Arul. 2001. Shortwave ultraviolet irradiation for control of decay cause by Botrytis cinerea in bell pepper: Induced resistance and germicidal effects. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 126: 128-133.
25.Moline, H.E. ed. 1984. Postharvest pathology of fruits and vegetables: Postharvest losses in perishable crops. Agricultural Experiment Station, Division of Agriculture and Nature Resources, University of California, Berkeley. Publication NE-87, 80pp.
26.Nigro, F., A. Ippolito, and G. Lima. 1998. Use of UV-C light to reduce Botrytis cinerea storage rot of table grapes. Postharvest Biol. Technol. 13: 171-181.
27.Porat, R., A. Lers, S. Dori, L. Cohen, B. Weiss, A. Daus, C. L. Wilson, and S. Droby. 1999. Induction of chitinase and β-1,3-endoglucanase proteins by UV irradiation and wounding in grapefruit peel tissue. Phytoparasitica 27: 233-238.
28.Rodov, V., S. Ben-Yehoshua, J. J. Kim, B. Shapiro, and Y. Ittah. 1992. Ultraviolet illumination induces scoparone production in kumquat and orange fruit and improves decay resistance. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 117: 788-792.
29.Stevens, C., V. A. Khan, A. Y. Tang, and J. Y. Lu. 1990. The effect of ultraviolet irradiation on mold rots and nutrients of stored sweet potatoes. J. Food Prot. 53: 223-226.
30.Stevens C., C.L. Wilson, J.Y. Lou, V.A. Khan, E. Chalutz , S. Droby, M.K. Kabwe, Z. Haung, O. Adeyeye, L.P. Pusey, M.E. Wisniewski and M. West M. 1996. Plant hormesis induced by ultraviolet light-C for controlling postharvest diseases of tree fruits. Crop Protection. 15(2):129-134.
31.Stevens, C., J. Liu, V. A. Khan, J. Y. Lu, C. L. Wilson, E. C. K. Igwegbe, M. K. Kabwe, E. Chalutz, and S. Droby. 1998a. Application of hormetic UV-C for delay ripening and reduction of rhizopus soft rot in tomatoes: the effect of tomatine on storage rot development. J. Phytopathol. 146: 211-221.
32.Stevens, C., V. A. Khan, J. Y. Lu, C. L. Wilson, P. L. Pusey, M. K. Kabwe, E. C. K. Igwegbe, E. Chalutz, and S. Droby. 1998b. The germicidal and hormetic effects of UV-C light on reducing brown rot disease and yeast microflora of peaches. Crop Prot. 17(1): 75-84.
33.Stevens, C., V. A. Khan, J. Y. Lu, C. L. Wilson, E. Chalutz, S. Droby, M. K. Kabwe, Z. Haung, O. Adeyeye, and L. P. Pusey. 1999. Induced resistance of sweet potato to Fusarium root rot by UV-C hormesis. Crop Prot. 18(7): 463-470.
34.Wilson, C. L., A. El Ghaouth, E. Chalutz, S. Droby, C. Stevens, J. Y. Lu, V. Khan, and J. Arul.

1994. Potential of induced resistance to control postharvest diseases of fruits and vegetables. Plant Dis. 78: 837-844.
35.Weatherhead, E.C. 2004. Ultraviolet Radiation. www.srrb.noaa.gov /UV / NCYCLOPEDIA_1.pdf
36.Wilson, C.L., A. El-Ghaouth, E. Chalutz, S. Droby, C. Stevens, J.Y. Lu, V. Khan and J. Arul. 1994. Potential of induced resistance to control postharvest diseases of fruits and vegetables. Plant Dis. 78(9):837-844.

Application of Shortwave Ultraviolet (UV-C) Irradiation as a Postharvest Treatment for Fresh Horticultural Products

Tsu-Tsuen Wang[1],
Yin-Chin Liang[2], Shu-Hui Liang[2], Guo-Tong Deng[2], and Chin-Chieh Huang[2]
Associate Professon[1] and Graduate Student[2] ,
Department of Horticulture, National Taiwan University

Summary

Shortwave ultraviolet radiation (UV-C) is the part of ultraviolet radiation with wavelength less than 280 nm. The application of low dosage UV-C irradiation to reduce postharvest decay of horticultural products has been a non-chemical postharvest technique developed during the past twenty years. So far, UV-C irradiation has been shown to be able to extend the postharvest life of a number of important horticultural products, including onions, sweetpotatoes, citrus fruits, apples, peaches, bell peppers, carrots, tomatoes, grapes and strawberries. The possible mechanisms of UV-C irradiation include direct germicidal effect, induced resistance in treated products and delay fruit ripening. The efficacy of UV-C irradiation is affected by a number of factors, including irradiation dosage, kind of products, development stages, storage temperature and presence of light. Currently, the UV-C irradiation technology is still under testing and there are obstacles to be overcome. However, since the UV-C treatment can enhance the disease resistance in harvested products; it has the potential of reducing the postharvest decay incidence during storage and marketing period as well as reducing the utilization of fungicides. Further studies in the development of UV-C irradiation technology should be encouraged.

Key words: ultraviolet, irradiation, decay, resistance, postharvest treatment, fruits, vegetables